

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

EXPERIMENTY S TERMOSNÍMKY OBLIČEJŮ

EXPERIMENTS WITH FACE THERMOGRAMS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

RADEK KOČÁR

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

EXPERIMENTY S TERMOSNÍMKY OBLIČEJŮ

EXPERIMENTS WITH FACE THERMOGRAMS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

RADEK KOČÁR

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MARTIN DRAHANSKÝ, Ph.D.

BRNO 2009

Abstrakt

Tato práce se zabývá využitím a vlastnostmi termosnímků obličejů. Práce je ze začátku zaměřena na popsání historického vývoje infračervené technologie. Následně podává teoretický základ k technikám termografického měření, fyzikální teorii a metodám pro detekci, lokalizaci a rozpoznání obličejů. Poslední kapitola je věnována samotným experimentům s termosnímkou a možnostem využití termografie.

Abstract

This thesis describes characteristics and usage of face thermograms. First part of the thesis introduces historical development of thermal imagery. Thesis continues with theory for thermographic measurement techniques, physical theory and methods for face detection, localization and recognition. Last chapter describes experiments with thermograms and possibilities for application of thermography.

Klíčová slova

termosnímkou, termokamera, rozpoznávání obličejů, databáze termosnímků, biometrika

Keywords

thermograms, thermocamera, face recognition, thermogram database, biometrics

Citace

Radek Kočár : Experimenty s termosnímkou obličejů, bakalářská práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2009

Experimenty s termosnímkou obličejů

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Martina Dražanského, PhD. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....
Kočár Radek
18. května 2009

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce, panu Ing. Martinu Dražanskému, PhD. za jeho odbornou pomoc a neocenitelné rady, díky kterým tato práce mohla vzniknout. Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům za jejich pomoc a podporu. V neposlední řadě patří mé díky všem, kteří se zúčastnili fotografování a tím mi umožnili vytvořit databázi termosnímků.

© Radek Kočár, 2009.

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

Obsah

Obsah.....	1
1 Úvod.....	3
2 Historie infračerveného záření	5
2.1 19. století.....	5
2.2 20. století.....	6
3 Teoretický základ k termografii.....	8
3.1 Elektromagnetické spektrum.....	8
3.2 Vyzařování černého tělesa.....	8
3.2.1 Planckův zákon.....	9
3.2.2 Wienův posunovací zákon.....	10
3.2.3 Stefan-Boltzmanův zákon.....	10
3.3 Nečerná tělesa.....	11
3.4 Infračerveně poloprůhledná tělesa.....	12
4 Techniky termografického měření.....	13
4.1 Emisivita.....	13
4.2 Odražená teplota jiných objektů.....	13
4.3 Vzdálenost od objektu.....	14
4.4 Relativní vlhkost vzduchu.....	14
4.5 Další parametry.....	14
5 Teorie rozpoznávání obličejů.....	15
5.1 Detekce a lokalizace tváře.....	16
5.1.1 Statisticky orientované metody.....	16
5.1.2 Znalostní metody.....	18
5.1.3 Shrnutí.....	20
5.2 Rozpoznávání tváře.....	20
5.2.1 Metoda založená na rozložení odstínů šedé v obraze.....	20
5.2.2 Metoda založená na geometrických tvarech a identifikačních markantech.....	21
5.2.3 Metoda optických toků (optic flow).....	22
5.2.4 Metoda neuronových sítí.....	22
5.3 Multispektrální analýza.....	23
5.3.1 Využití kamery snímající v infračervené oblasti.....	24
5.3.2 Normální snímek versus termo snímek.....	24
5.3.3 Kombinace termosnímků s normálními snímky.....	26
5.3.4 Shrnutí.....	26

6 Databáze termosnímků.....	27
6.1 Termokamera.....	27
6.2 Termosnímký a jejich rozložení.....	28
6.3 Zkoumání termosnímků.....	29
6.3.1 Analýza identifikačních markantů.....	30
6.3.2 Shrnutí analýzy identifikačních markantů.....	31
6.4 Termobary.....	31
6.4.1 Termobary v závislosti na částech obličeje.....	32
6.4.2 Termobary osob v teplejších a chladnějších variantách	33
6.4.3 Osoby s brýlemi.....	34
6.4.4 Shrnutí - termobary.....	35
6.5 Termosnímký – výhody a nevýhody oproti normálním snímkům.....	35
6.6 Využití termosnímků v praxi.....	36
6.6.1 Využití ve stavebnictví.....	36
6.6.2 Využití při epidemických nákazách.....	36
6.6.3 Využití při detekci lží.....	37
6.6.4 Využití při rozpoznávání obličejů – výsledky rozpoznávání na námi vytvořené databázi.	37
6.7 Shrnutí.....	38
7 Závěr.....	39
Literatura.....	40
Seznam příloh.....	41

1 Úvod

Která oblast lidského těla dokáže nejlépe definovat určitou osobu? Jakým způsobem snímat biometrické údaje osob? Který je nejdůležitější znak člověka, díky kterému jasně identifikujeme určitou osobu? To je jen pár otázek, kterými se zabývají autoři biometrických identifikačních systémů. Na některé z nich se pokusím v této práci odpovědět.

V době hrozeb terorismu a epidemických nákaz se objevuje nový zájem o biometrické systémy schopné s těmito hrozbami efektivně bojovat. Existují systémy porovnávající otisky prstů, oční sítnici a další biometrické údaje. Tyto systémy však potřebují vstřícný a aktivní přístup snímané osoby. Samotné snímání těchto údajů je pak kolikrát zdlouhavé a pro snímanou osobu ne vždy příjemné.

Nejoblíbenější systémy pro rozpoznání osob jsou systémy zaměřené na obličej. Obličej je skoro vždy odhalený, a tím vystavený snímání. Nemluvě o tom, že pro snímanou osobu je mnohokrát příjemnější se nechat pouze vyfotografovat, než si třeba nechat sejmout otisky prstů. Možností jak obličej snímat je několik. Pokud pomineme nejčastější způsob, tedy fotografii pořízenou klasickým fotoaparátem, je zde mnoho dalších možností. V poslední době se zvedá zájem o termografii. Důvody tohoto obnoveného zájmu jsou mnohé. Příkladem může být to, že snímkům, které jsou vytvořeny speciálními termokamerami nevadí světlo a stín. Dalším příkladem je možnost bezkontaktního měření teploty člověka.

Zadání a téma této práce je svým obsahem značně rozsáhlé. Problematika samotná má multidisciplinární charakter a využívá různé fyzikální jevy a zákonitosti. K naplnění zadání, obsahu a cílů jsem práci strukturoval do sedmi kapitol. Tato první kapitola je úvodem a poslední sedmá kapitola je věnovaná závěrečnému shrnutí.

Ve druhé kapitole jsem uvedl některé historické a faktografické údaje spojené s vědeckým bádáním a objevem infračervené části elektromagnetického spektra v 19.století, s postupným rozšiřováním poznatků v této oblasti a hledáním praktického využití tohoto jevu.

Třetí kapitola je věnována základním teoretickým východiskům, zákonitostem a zákonům. Tyto zákony formulované významnými fyziky popisují elektromagnetické spektrum se zvláštním zaměřením na infračervenou část spektra.

Ve čtvrté kapitole uvádím již některé vybrané parametry, podmínky a techniky měření a hodnocení, které mají vliv na praktické využívání termografie.

Pátou kapitolu, relativně rozsáhlou jsem zaměřil na problematiku metod a fyzikálních jevů vhodných a využívaných při rozpoznávání lidského obličej. Uvádím zde základní teoretická východiska a metody pro detekci a lokalizaci obličej.

Šestá kapitola navazuje na teoretická východiska a závěry předcházející kapitoly. Autorem této práce bylo s využitím termokamery pořízeno několik stovek termografických snímků. Tyto snímky zachycují obličej osoby různého pohlaví, věku, za různých vnějších teplotních podmínek, poloh hlavy, apod.. S využitím této experimentální databáze jsem se pokusil analyzovat vliv různých faktorů a ověřit jejich významnost a využitelnost pro rekognici a identifikaci lidského obličeje s využitím pouze termosnímků či v kombinaci s jinými metodami.

2 Historie infračerveného záření

Tato práce jak již název nabízí se z velké části zabývá termo snímky a s nimi spojeným infračerveným zářením. Následující podkapitoly nám lépe objasní historii termosnímků a jejich spojitost s infračervenou částí spektra.

2.1 19. století

Před 200 lety neexistovala žádná informace o infračervené části elektromagnetického spektra. Infračervené spektrum, nebo jinak zkráceně infračervené světlo bylo objeveno v roce 1800 Sirem Williamem Herschlem (1738 – 1822) [6]. Objev se stal náhodou při hledání nových optických materiálů. Sir William Herschel – královský astrolog krále Jiřího III. z Anglie, byl již tehdy znám pro svůj objev planety Uran. Při svém bádání se pokoušel vytvořit optický filtr, kterým by zmenšil jas slunečního obrazu ve svém dalekohledu. Při testování různých typů barevných sklíček, které mu poskytovala stejnou nebo podobnou redukci jasu zjistil, že některá ze sklíček propouštějí velmi málo slunečního tepla, zatímco jiná propouštěla tolik tepla, že pozorováním skrz tato sklíčka riskoval poškození zraku.

Herschel byl brzy přesvědčen o nutnosti vytvořit systematický experiment s cílem najít materiál, pomocí kterého by dosáhl požadované redukce světla a tepla. Svůj experiment započal tím, že zopakoval Newtonův experiment s hranoly. Ovšem s tím rozdílem, že se zaměřil na účinek zahřívání místo vizuální distribuce intenzity světla ve spektru. Experiment byl proveden následovně: Herschel si připravil řadu teploměrů, kterým začernil spodní nádobku se rtutí. Jeden teploměr umístil přímo na světlo a dalším pohyboval ve světle rozloženém hranolem. Díky tomu mohl prozkoumat tepelný efekt všech barev spektra. Při pohybu teploměrem skrze světelné spektrum zjistil, že teplota se čím dál více zvedala, čím dál se dostal od fialové složky směrem k červené. Tento poznatek byl již viděn při podobném experimentu, který provedl italský vědec Landriani v roce 1777 [6]. Avšak byl to Herschel, kdo první přednesl myšlenku, že musí existovat bod, kde tepelný efekt dosáhne svého maxima, a že tento bod není umístěn ve viditelné části spektra. Posouváním teploměru do temné (okem neviditelné) části za červenou barvu Herschel potvrdil, že teplota nepřestávala růst. Teplotní maximum objevil až daleko za červenou barvou v oblasti, kterou dnes nazýváme infračervenou.

Když Herschel zveřejnil svůj objev, tak tuto novou složku elektromagnetického spektra nazval „termometrické spektrum“. Záření samotné pojmenoval jako „temné teplo“, nebo jednoduše „neviditelné paprsky“. Nebyl to tedy Herschel, kdo první použil název „infračervené“. Tento termín byl použit až zhruba o 75 let později. Bohužel neznáme jméno osoby, která tento název vymyslela.

Herschlovo použití skleněného hranolu, při jeho experimentu zvedlo zájem jeho současníků. Bylo napsáno mnoho vědeckých prací o infračervených vlnových délkách. Jiní vědci v pokusu o potvrzení výsledků jeho práce použili různých typů skel, které mají jinou průhlednost v infračerveném spektru. Herschel také provedl řadu dalších experimentů a ujistil se o limitované propustnosti infračerveného spektra skrze skleněný hranol. Byl přesvědčen, že přístroje pro pozorování infračervené části spektra jsou odsouzeny k použití zrcadlových prvků (rovné a zakřivené zrcadlo...). Naštěstí v roce 1830 objevil italský vědec Melloni, že kamenná sůl je velice propustná pro infračervené světlo [6]. Výsledkem bylo, že se kamenná sůl stala hlavním materiálem pro výrobu infračervených čoček a hranolů. Používala se po dalších 100 let až do roku 1930, kdy byly objeveny syntetické krystaly.

Teploměry byly používány až do roku 1829, kdy Melloni objevil termočlánky [6]. Později Melloni spojil řadu termočlánků do série a vytvořil první termobaterii. Toto nové zařízení bylo čtyřicetkrát přesnější, než nejlepší teploměr. Série termočlánků byla schopná zjistit tepelné záření od osoby stojící 3 metry daleko.

První "termo obrázek" byl vytvořen Johnem Herschelem, synem objevitele infračerveného spektra. Za pomoci postupného odpařování tenké vrstvy oleje, při vystavení tepelnému záření, se dalo pouhým okem pozorovat odražené světlo v místech, kde se projevil interferenční efekt na olejové vrstvě. Sir John Herschel také dokázal pořídit primitivní záznam termosnímku na papír, který nazval termograf [6].

Vývoj nových typů infračervených detektorů pokračoval pomalu. Další velký objev byl učiněn až v roce 1880 vědcem Langley, který vynalezl tzv. bolometr [10]. Toto zařízení se skládalo ze začerněného proužku platiny připojeného do Wheatstounova můstkového okruhu. Na toto místo bylo zaměřeno infračervené záření, na které reagoval citlivý galvanometr. Bolometr byl schopen zachytit teplo z krávy vzdálené 400 metrů.

Anglický vědec, Sir James Dewar, ve svém výzkumu nízkých teplot poukázal na použití zkapalněných plynů k chlazení. V roce 1892 vynalezl unikátní vakuově izolovaný kontejner, ve kterém bylo možné skladovat zkapalněné plyny v rozmezí dnů až týdnů. Tohoto postupu je použito u klasických termosek.[6]

2.2 20. století

Mezi roky 1900 až 1920 bylo „znovu objeveno“ infračervené záření. Bylo vydáno mnoho patentů na zařízení pro detekci osob, dělostřelectva, letadel, lodí a dokonce i ledovců. První takové zařízení se začalo vytvářet v období války (tj. v letech 1914 – 1918), kdy obě válečné strany měly výzkumné programy zaměřené na vojenské využití infračerveného světla. Tyto programy zahrnovaly

experimentální systémy pro detekci osob, dálkové měření teploty, zabezpečenou komunikaci a ovládání torpéd. Infračervený sledovací systém byl v této době schopen zaznamenat přilétající letadlo ze vzdálenosti 1,5 km nebo osobu ve vzdálenosti 300 metrů [6].

Nejcitlivější systémy byly do této doby založeny na použití bolometrů. Ale v období mezi dvěma světovými válkami byly vynalezeny dva nové infračervené detektory: převaděč obrazu a fotonový detektor. Z počátku se výzkum armády zaměřil převážně na převaděč obrazu, protože díky němu člověk dokázal doslova vidět ve tmě. Avšak převaděč obrazu byl citlivý na vlnové délky, které se pouze blížily infračervenému spektru. Takže vojenské objekty, například klasický voják, musel být osvětlen infračerveným světlem. Díky tomuto zářiči se stal pozorovatel silně odkryt pro stejně vybaveného nepřítele, proto armáda ztratila zájem o další vývoj převaděče obrazu.

Taktická vojenská nevýhoda, tak zvané aktivních termo sledovacích systémů se ukázala být dobrým impulsem pro vytvoření dalších tajných výzkumů, zabývajících se vytvořením pasivního sledovacího systému (bez infračerveného zářiče). Až do roku 1955 byly všechny informace o termo detektorech drženy v tajnosti. Od té doby jsou přístroje schopné vytváření a zaznamenávání termosnímků přístupné pro civilní vědce a průmysl[6].

3 Teoretický základ k termografii

3.1 Elektromagnetické spektrum

Elektromagnetické spektrum je rozděleno libovolně na určitý počet oddílů vlnových délek, nazývaných části, rozlišených podle metody vytvoření a zjištění záření. Není zde žádný podstatný rozdíl mezi zářením různých částí elektromagnetického spektra. Všechny podléhají stejným zákonům a tím pádem jediný rozdíl mezi těmito skupinami je různá vlnová délka.

Termografie používá infračervenou část elektromagnetického spektra. Tato část elektromagnetického spektra sousedí u kratších vlnových délek s viditelným zářením barvy sytě červené. U větších vlnových délek tato infračervená část přechází do mikrovlnné části [6].

Infračervená část se dále často rozděluje na 5 menších částí. Hranice těchto oblastí nejsou přesně stanoveny. My zde uvedem nejznámější normu, kterou je DIN (tj. Deutsche Industrie-Norm) [3].

- Blízké (*near*) infračervené záření – NIR - vlnová délka 0,76–1,4 μm , definováno podle vodní absorpce; často používané v telekomunikacích optických vláken
- krátké (*short wave*) IR – SWIR - vlnová délka 1,4–3 μm , při 1450 nm značně roste vodní absorpce
- střední (*medium wave*) IR – MWIR - též prostřední (intermediate-IR neboli IIR), vlnová délka 3–8 μm
- dlouhé (*long wave*) IR – LWIR - vlnová délka 8–15 μm
- extrémně dlouhé (*far*) IR - FIR – vlnová délka 15–1000 μm

3.2 Vyzařování černého tělesa

Černé těleso je definováno jako objekt, který pohlcuje veškerou radiaci, která na něj dopadne, bez ohledu na vlnovou délku. Zjevné chybné označení „černý“ u objektu vyzařujícího záření je vysvětleno pomocí Kirchhoffova zákona [7], pojmenovaného podle Gustava Roberta Kirchhoffa, který žil v letech 1824 – 1887. Tento zákon říká, že těleso, které je schopné pohlcovat jakékoliv záření, je také schopno toto záření vysílat.

Konstrukce černého zářiče je principiálně velice jednoduchá. V praxi můžeme dosáhnout dokonalého pohlcovače záření tím, že vezmeme krabici, která je světlem neproniknutelná, kromě štěrbin na jedné straně. Jakákoliv radiace, která touto štěrbinou vejde, je roztříštěna a absorbována

opakovaným odrazem od stěn. Pouze nekonečně malé množství tohoto záření unikne zpět. Temnota, které v tomto zařízení dosáhneme je skoro úplně stejná jako u temného tělesa a dokonale pohlcuje všechny vlnové délky [6].

Když vezmeme takovouto izotermickou dutinu a vhodné topné těleso, můžeme takto vytvořit objekt, který se nazývá dutinový zářič. Zahřátím izotermické dutiny na jednotnou teplotu, dosáhneme vyzařování černého tělesa. Toto vyzařování je však ovlivňováno pouze teplotou v dutině. Takového dutinové zářiče jsou obvykle používány v laboratořích, jako zdroj záření pro určité teploty. Tímto způsobem se kalibrují různé termografické přístroje.

Pokud při vyzařování černého tělesa teplota přesáhne 525 stupňů Celsia[6], tak dutinový zářič začne být viditelný pouhým okem. Jeho barva pro lidské oko přestane být černou. Toto je počáteční teplota pro červené žhnutí topného tělesa. S postupující teplotou se barva mění na oranžovou, žlutou a bílou. Takle teplota, kdy se zviditelňuje černé těleso se nazývá barevná teplota.

Pro popsání záření vycházejícího z černého tělesa se používá tří fyzikálních zákonů.

3.2.1 Planckův zákon

Max Planck byl schopen popsat spektrální distribuci záření z černého tělesa za pomoci následující rovnice 3.1 [7]:

$$W_{\lambda b} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 (e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1)} 10^{-6} [Watt / m^2 \cdot \mu m] \quad (3.1)$$

Tabulka 3.1: Značky z rovnice 3.1 a vysvětlivky

$W_{\lambda b}$	Vyzařování černého tělesa při vlnové délce λ
c	Rychlost světla = 3×10^8 m / s
h	Planckova konstanta = 6.6×10^{-34} Joul / s
k	Boltzmanova konstanta = 1.4×10^{-23} Joul / K
T	Absolutní teplota černého tělesa (K)
λ	Vlnová délka (μm)

Grafickým znázorněním Planckovy rovnice pro různé teploty, dostaneme skupinu křivek. Sledováním jakékoliv z těchto Planckových křivek zjistíme, že spektrální vyzařování je nulové, pokud $\lambda = 0$. Poté prudce roste na svou maximální hodnotu u vlnových délek λ_{max} . Následně zase klesá k nule u velmi dlouhých vlnových délek. Čím větší je teplota, tím je kratší vlnová délka, ve které dosahujeme maximální teploty. [7]

3.2.2 Wienův posunovací zákon

Pozměněním Planckovy rovnice s ohledem na λ a tím že jsme našli maximum, jsme došli k této rovnici 3.2 [6]:

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{T} \mu\text{m} \quad (3.2)$$

Toto je Wienova rovnice [6] (pojmenovaná podle Wilhelma Wiena, která žil v letech 1864 – 1928), která matematicky znázorňuje obecně známý fakt, že se s přibývajícím teplotou barvy mění od červené, přes oranžovou do žluté. Vlnová délka barev je stejná jako vlnová délka vypočítaná pro λ_{\max} . Přesnější hodnota λ_{\max} s použitím dané teploty černého tělesa je získána použitím pravidla palce $3000\text{T}/\mu\text{m}$. Avšak některé velice horké hvězdy, například Sirius (11000 K) vyzařuje zářivě bílé světlo se zářením, které se vyskytuje až v ultrafialovém spektru. Vlnová délka tohoto záření je $0,27 \mu\text{m}$ [6].

Slunce (6000 K) vyzařuje žluté světlo, dosahující vlnové délky $0,5 \mu\text{m}$ uprostřed viditelné části spektra.

Při pokojové teplotě (300 K) se vrchol vyzařované vlnové délky ocitá někde na hodnotě $9,7 \mu\text{m}$, v infračervené části. Zatímco tekutý dusík (77 K) vyzařuje velice málo. Tato trocha záření má vlnovou délku $38 \mu\text{m}$. [7]

3.2.3 Stefan-Boltzmanův zákon

Použitím Planckova zákona s hodnotami $\lambda = 0$ až $\lambda = \infty$, získáváme celkovou hodnotu záření (W_b) černého tělesa [6].

$$W_b = \sigma T^4 [\text{Watt}/\text{m}^2] \quad (3.3)$$

Výše uvedená rovnice 3.3 je Stefan-Boltzmanův zákon [6] (pojmenovaný podle Jozefa Stefana, 1835 - 1893 a Ludvíka Boltzmann, 1844 – 1906), který ukazuje celkovou sílu záření černého tělesa. Pokud bychom si tento vzorec znázornili graficky, tak W_b znázorňuje plochu pod Planckovou křivkou. V intervalu $\lambda = 0$ až λ_{\max} je pouze 25 % z celkového záření. Toto množství je zhruba stejné jako sluneční záření, které leží ve viditelné části spektra [7].

Požitím Stefan-Boltzmanova zákona můžeme vypočítat množství tepla (záření), které lidské tělo vyzáří. Lidské tělo při teplotě 300 K a velikosti povrchu 2 m^2 vyzáří 1 kW. Taková teplotní ztráta by byla neudržitelná, pokud by si to lidské tělo nevynahrazovalo tím, že přijímá záření z okolních objektů. Na příklad, při pobývání v pokojové teplotě je vyzařování a přijímání tepla v udržitelné rovnováze. Toho samého dosáhneme využitím oblečení [6].

3.3 Nečerná tělesa

Výše uvedené zákony ovšem nemůžeme jen tak vztáhnout na normální objekty (ty, které se svými vlastnostmi liší od černého tělesa). Avšak i přesto se normální objekty mohou v určité části spektra přiblížit chování černého tělesa. Například, bílá barva se nám jeví ve viditelné části spektra perfektně bílá. Avšak při vlnové délce 2 μm vypadá tato bílá barva šedě a při vlnové délce větší jak 3 μm je černá.

Existují tři činitelé, díky kterým se reálný objekt nechová jako černé těleso. Jsou to [6]:

- činitel pohltivosti – procento záření, které je pohlceno objektem - α_λ
- činitel odrazu – procento záření, které je odraženo od objektu - ρ_λ
- činitel prostupu – procento záření, které objektem projde - T_λ

Součet všech těchto činitelů se rovná jedné. Vzorcem [6]:

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda + T_\lambda = 1 \quad (3.4)$$

Pro nepropustné materiály je T_λ je rovno 0. Proto vzorec vypadá následovně[6]:

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda = 1 \quad (3.5)$$

Další faktor nazývaný emisivita [6] je potřebný k tomu, abychom mohli vyjádřit zlomek ε intenzity záření černého tělesa vyzářeného objektem při určité teplotě. Spektrální emisivita [6](ε_λ) je poměr síly spektrálního záření normálního objektu a černého tělesa při stejné teplotě a vlnové délce. Matematicky vyjádřeno [6]:

$$\varepsilon_\lambda = \frac{W_{\lambda o}}{W_{\lambda b}} \quad (3.6)$$

Existují tři typy zdrojů záření, rozdělené podle toho jak se spektrální vyzařování liší při různých vlnových délkách [6]:

- Černé těleso, $\varepsilon_\lambda = \varepsilon = 1$
- Šedé těleso, $\varepsilon_\lambda = \varepsilon =$ menší než 1
- Selektivní zářič - ε je různé, záleží na vlnové délce.

Podle Kirchhofova zákona pro jakýkoliv materiál platí, že spektrální emisivita a spektrální činitel pohltivosti si jsou rovny při určité teplotě a vlnové délce [6].

$$\varepsilon_\lambda = \alpha_\lambda \quad (3.7)$$

Při použití vzorce pro neprůhledné materiály ($\alpha_\lambda + \rho_\lambda = 1$) dostáváme :

$$\varepsilon_\lambda + \rho_\lambda = 1 \quad (3.8)$$

U vysoce odrazivých materiálů se ε_λ přibližuje nule. Tím pádem pro dokonale odrazivé materiály dostáváme $\rho_\lambda = 1$.

U šedého tělesa se Stefan–Boltzmannův zákon převede na [6]:

$$W = \varepsilon \sigma T^4 [Watt / m^2] \quad (3.9)$$

Tímto dokážeme, že vyzařovací síla šedého tělesa je stejná jako u černého tělesa, při stejné teplotě a hodnotě ε v poměru se šedým tělesem [6].

3.4 Infračerveně poloprůhledná tělesa

Vezmeme-li nyní v úvahu nekovový, poloprůhledný materiál (například silná, plochá deska z plastu). Když je deska zahřata, tak vytvořené záření uvnitř této desky se musí nějak propracovat deskou, přičemž je část záření pohlcena. Navíc, když se dostane k povrchu, tak je část pohlcena, část odražena zpět a část unikne ven. Ovšem odražené záření se znovu propracovává materiálem a je čím dál tím slabší a slabší. A proto musí být i toto záření přidáno do rovnice pro výpočet celkového vyzařování tělesa [6].

$$\varepsilon_\lambda = \frac{(1 - \rho_\lambda)(1 - T_\lambda)}{1 - \rho_\lambda T_\lambda} \quad (3.10)$$

Přitom, když se deska stane nepropustnou, tak je tato rovnice změněna pouze na :

$$\varepsilon_\lambda = 1 - \rho_\lambda \quad (3.11)$$

Tento poslední vzorec je velice příhodný, protože je často jednodušší měřit odrazivost, než přímo emisivitu tělesa [6].

4 Techniky termografického měření

Infračervená kamera měří a zaznamenává infračervené záření z objektů. Díky tomuto vyzařování teploty povrchu objektu je možné, aby kamera změřila, vypočítala a ukázala tuto teplotu na displeji.

Záření měřené termokamerou nezávisí pouze na teplotě objektu, ale i na velikosti emisivity (zářivosti). Infračervené záření vzniká i z okolí a je odraženo objektem. Záření objektu a odražené záření z okolí je také ovlivňováno tím, jak rychle dokáže vzduch tyto paprsky pohlcovat [10].

Abychom tedy mohli přesně měřit teplotu je třeba kompenzovat vliv dalších zdrojů záření. To je prováděno kamerou automaticky. Avšak kameře musí být dodány následující parametry pro správné vyhodnocení a vypočítání teploty objektu [6]:

- vyzařování objektu (emisivita)
- odražená teplota jiných objektů
- vzdálenost objektu od kamery
- relativní vlhkost vzduchu
- teplota vzduchu

4.1 Emisivita

Nejdůležitějším parametrem objektu je emisivita, která se dá v krátkosti popsat jako množství infračerveného záření, které objekt vyzařuje do prostoru. Zjišťuje se porovnáním s emisivitou dokonalého černého zářiče.

Za normálního stavu materiál objektu a jeho povrchové úpravy vyzařuje emisivitu přibližně v rozsahu od 0.1 do 0.98 [6]. Vysoce odrazivé povrchy (např. zrcadlo) má emisivitu pod hranicí 0.1, zatímco zoxidované nebo pomalované plochy mají vyšší emisivitu. Olejomalby, bez ohledu na to jako barvou jsou namalované, mají emisivitu v infračerveném spektru větší jak 0.9. Lidská kůže má emisivitu od 0.97 do 0.98 [6].

Nezoxidované kovy reprezentují krajní případ dokonalé neprůhlednosti a vysoké odrazivosti, která se příliš neliší v závislosti na zkoumaných vlnových délkách. Následkem toho je emisivita kovů nízká. Zvyšuje se pouze se zvětšující se teplotou. U nekovových předmětů zaznamenáváme vysokou emisivitu, která se zmenšuje s teplotou[6].

4.2 Odražená teplota jiných objektů

Tento parametr je používán pro kompenzování vlivu odraženého záření na objekt. Může nastat případ, kdy je emisivita nízká a teplota objektu hodně různá od té, která je zrcadlena na námi

sledovaném objektu. Tehdy je důležité, abychom nastavili kompenzování tohoto zrcadleného záření[6].

4.3 Vzdálenost od objektu

Vzdálenost je počítána od měřeného objektu k přední čočce kamery. Tento parametr je nutný pro kompenzování vlivu na termografické měření ze dvou důvodů [6].

- Záření objektu je pohlcováno vzduchem, který se nachází mezi objektem a kamerou.
- Samotný vzduch vyzařuje určité záření, které kamera detekuje a zaznamenává.

4.4 Relativní vlhkost vzduchu

Dalším zavádějícím parametrem, který kamera dokáže kompenzovat je vlhkost vzduchu. Prostupnost záření totiž závisí na vlhkosti vzduchu. Abychom tento vliv na měření kompenzovali, je zapotřebí přesnějšího nastavování kamery. Například pro kratší vzdálenosti a normální vlhkost vzduchu je třeba nastavit relativní vlhkost vzduchu na 50 % [6].

4.5 Další parametry

Existují další parametry, které je možné nastavit pro kompenzování negativního vlivu na měření [6]:

- Teplota vzduchu – teplota vzduchu, nacházejícího se mezi čočkou a objektem
- Teplota externí optiky – při použití přídavných čoček a jiných zařízení
- Přenos záření externí optikou - při použití přídavných čoček a jiných zařízení

5 Teorie rozpoznávání obličejů

Počítačová identifikace osoby podle její tváře má dvě základní klíčové etapy. V první etapě probíhá na scéně detekce a lokalizace tváře. Scénou může být fotografie s několika osobami nebo reálné situace (pohled lidského oka nebo i kamery do davu lidí vystupujících z vlaku nebo vcházejících do určitého objektu). Na scéně je nalezena tvář a je spolehlivě rozpoznána od ostatních obrazů na scéně. S rozpoznáním, že se jedná o lidskou tvář, určujeme i její prostorové umístění (souřadnice) – lokalizace.

Úloha rozpoznávání tváře od ostatních objektů na scéně je prvním krokem ve složitém identifikačním procesu.

Detekce a lokalizace tváře velice záleží na typu scény. Na scéně můžeme pozorovat velké množství tváří a nebo dokonce žádnou tvář. Je poměrně jednoduché detekovat a rozpoznávat tváře např. v aplikacích „pro přihlašování se“ do počítače, nebo při průchodu celnicí, či jiným kontrolním bodem. Zde je pozadí jednoduché, standardní, stejně tak vzdálenost tváře od snímací kamery se pohybuje v přesně vymezeném koridoru. V těchto případech je snazší oddělit tvář od pozadí scény. Zatímco u aplikací reálného charakteru je situace podstatně složitější. Scéna je univerzální, pozadí je různorodé, často velmi barevné a objektově proměnlivé, dynamické. Na scéně se prostorově pohybuje i velké množství jiných osob. Jejich detekce i lokalizace je podstatně složitější, protože tváře v důsledku různé vzdálenosti od objektivu mají různou velikost a některé identifikační znaky pak není možné rozlišit. Zrovna tak orientace tváří a osvětlení je nestejnorodé a časově proměnlivé. Mění se i výraz samotných tváří, do kterého se promítají i naše emoce [2].

Druhá etapa se zabývá automatickým nalezením základních identifikačních charakteristik a rozpoznáním tváře známé již z minulosti, nejčastěji uložené v databázi.

Extrakce charakteristik a rozpoznání lidské tváře se může rovněž lišit v závislosti od typu aplikace, od požadavků, které jsou na ni kladeny. Způsoby jak používat rozpoznání tváří v reálných aplikacích můžeme rozdělit následně:

- klasická verifikační úloha – je ověřována identita jedné nasnímané osoby s daty, které předala
- identifikace v počítačové databázi – hledáme informace, které patří zaznamenané tváři
- kontrola všech osob na scéně – jedná se o kontrolu, při které máme z databáze získanou tvář osoby a tu hledáme na scéně

5.1 Detekce a lokalizace tváře

Základní myšlenkou, jak z reálné scény, kterou přináší každodenní život, vybrat strojově lidskou tvář, je vytvořit její počítačový model a ten porovnat s každým objektem na scéně. Vypočítává se podobnost modelu lidské tváře s jednotlivými objekty, jež byly rovněž na scéně nalezeny. Na základě výsledku porovnání se pak automatizovaně rozhoduje, zda objekt na scéně je tváří či nikoliv. Zároveň se určuje pozice (souřadnice) tváře na scéně. Na základě matematických postupů modelování tváře může být detekce a lokalizace tváře rozdělena na dva základní typy:

- Statisticky orientované metody
- Znalostní metody

Dalšími přístupy, které se mohou vyskytnout je srovnávání šablon a metody založené na zjevu.

- Srovnávání šablon - hledání na základě korelace obrazu s přednastavenými šablonami, buď celého obličeje nebo jeho částí. Nevýhodou tohoto přístupu je nutnost vytvořit a mít uloženy v paměti jednotlivé šablony, které je potřeba většinou ručně vytvořit, což je velmi pracné a časově náročné.
- Metody založené na zjevu - modely obličeje jsou získány učením z trénovací množiny, která obsahuje různé vzory tváří. Detekce probíhá srovnáváním částí obrazu s tímto modelem. Opět je zde nutnost vytvořit modely obličeje, i když učení většinou probíhá poloautomaticky. Metody založené na tomto přístupu dosahují velmi dobrých výsledků.

5.1.1 Statisticky orientované metody

Metoda podprostoru

Cílem této metody je nalézt v obraze tváře obecné a přitom markantní charakteristiky (např. oči, nos, ústa....) [6] typické pro lidskou tvář. Jestliže tyto charakteristiky v obraze nalezneme, můžeme konstatovat, že vyhodnocovaný obraz je obrazem tváře.

Každý obraz tváře je považován za vícerozměrný vektor, a každý obrazový bod (pixel) odpovídá určité obrazové komponentě. Jestliže všechny charakteristiky tváře leží v témže podprostoru vícerozměrného prostoru, pak tento podprostor je dobrou reprezentací tváře, protože obsahuje společné rysy tváře. Detekce tváře je pak detekcí podprostoru, v níž se tvář nalézá.

Eigenface

V praxi se pak pro detekci a rekognici tváře používá Karhunen–Loeve transformace [2]. V souvislosti s touto transformací se v odborné literatuře setkáváme s pojmem normalizovaný obraz tváře (v aj. eigenface). Eigenface (viz obrázek 5.1) [2] můžeme pospsat jako metodu reprezentace lidské tváře pomocí lineárních transformací ze skutečných podob tváře. Normalizovaná tvář je pak monochromatický systém, který využívá markantní (determinující) charakteristiky lidské tváře pro počítačové rozpoznávání, a které jsou uloženy v databázi vizuálních rozpoznávacích aplikací[2]. Normalizované tváře mohou měnit svůj vzhled (pomocí doplňků jako jsou brýle, příkrývky hlavy...) nebo výraz (veselí, smutek...).[2]

Eigenface se často nazývá také jako Analýza základních komponent (v aj. PCA – Principal Component Analysis)[3]. Při této metodě je brána databáze obrázků (snímků) a jeden obrázek je popsán údaji, které popisují kombinaci obličejů z prostoru obličejů, ze kterých se ten snímek skládá [3] . Takže při složení všech obrázků ve správném poměru získáme zpátky náš originální obrázek.

Kromě pojmu eigenface se můžeme v literatuře setkat s pojmem eigenhead [2], což je třírozměrná verze eigenface, která slouží pro analýzu celé hlavy, místo pouze tváře.



Obr. 5.1: Eigenface – zdroj: <http://robogill.com/>

Metoda neuronových sítí

Detekce tváří pomocí neuronových sítí je považována za klasifikační problém o dvou třídách [2]:

- 1. třída – obrazy tváře
- 2. třída – obrazy, které nejsou lidské tváře

Základním úkolem je naučit aplikaci bezchybně rozpoznávat obrazy obou tříd. K tomu se připravují speciální vzorové knihovny s obrazy obou tříd. Pro neuronové sítě je poměrně těžké rozpoznávat obrazy druhé třídy, protože obrazů, jež nepředstavují podobu tváře, je obrovské množství. Detekce tváře pak záleží na kvalitě schopnosti rozpoznávat právě obrazy druhé třídy. Z

uvedeného vyplývá, že metoda neuronových sítí používaná pro detekci a rozpoznávání tváře má svá slabá místa. Vedou se proto intenzivní výzkumné práce, jak metodu neuronových sítí efektivně doplnit o další metody, díky kterým by se zabránilo výše zmíněným nedostatkům [2].

5.1.2 Znalostní metody

Metody založené na rozložení odstínu šedi v obraze

Lidská tvář je tvořena mnoha znaky, které se různě kombinují, a tím vzniká jedinečná podoba. Ale rozložení identifikačních znaků velmi podobné (pravé oko je vedle levého), a z tohoto důvodu lze stanovit určitá obecná pravidla distribuce odstínů šedé barvy v obraze za normálních světelných podmínek. Pro příklad uvedeme, že oblast očí je vždy tmavší než například čelo. Detekce tváří, založená na základě těchto pravidel je dostatečně efektivní a tedy v praxi hojně používaná.

Nejznámější metodou z této skupiny je metoda mozaiky [2]. Tato metoda je dostatečně efektivní i tehdy, když oblast obličeje na scéně je malá nebo nevýrazná. Metoda vychází z přirozeného způsobu rozpoznávání tváře lidským mozkem. Metoda mozaiky rozdělí zpracovávanou oblast do obrazových bloků za pomoci čtvercové sítě 4x4. V těchto blocích pak leží oči, ústa, líce, nos apod. Jestliže se ve zpracovávaném obraze nachází tvář, pak v některých obrazových blocích nalezneme identifikující markanty tváře (oči, ústa, tváře, nos), které by měly vyhovovat pravidlům distribuce odstínů šedé barvy. Postupně vybíráme jednotlivé obrazové bloky a zkoumáme, zda se v nich nalézají hledané markanty. Bloky, které nesplňují tato pravidla, vyřazujeme z dalšího zpracování. Obrazové bloky, které zůstanou, znovu stejným způsobem dělíme do sítě ještě detailnějších obrazových bloků, tentokrát ale v rozlišení 8x8. Pomocí metod detekce hran definitivně určíme pozici identifikujících markantů [2].

Metoda mozaiky zohledňuje geometrické vztahy mezi jednotlivými částmi obličeje. Jiné metody, které vycházejí z metody mozaiky, nejprve definují jednotlivé obličejové markanty. Pro rozpoznání každého markantu může být využita zcela samostatná, nezávislá metoda. Teprve po nalezení jednotlivých markantů se určuje celková lokalizace tváře.

Metody založené na rozpoznávání obličejových obrysů

Jestliže se nám podaří korektně a přesně definovat obrys tváře (konturu), pak další detekce tváře je podstatně jednodušší. Častým problémem je, že sice detekujeme hrany obličeje, ale nemůžeme si být jistí jestli jsme onu hranu detekovali správně, protože současné algoritmy na detekci hran mají svá omezení. Přesto této metody můžeme využít k nalezení jednotlivých objektů ve tváři – oči, ústa, apod. Tyto identifikační markanty jsou vstupními charakteristikami pro další metody, používanými

při identifikaci a verifikaci tváře [2]. Obrysy, kontury, hrany objektů lze obecně nalézt pomocí tzv. prahování, různých filtrů, detekce hran apod.

Metody založené na informaci o barvách

Člověk, neboli lidský jedinec, má svou specifickou barvu kůže, která je obvykle různá od ostatních. Přesto lze definovat určité zásady, které odlišují obličej od barevně diferenciovaného prostředí. Toto je základní myšlenka detekce a lokalizace lidské tváře na scéně za pomoci těchto metod. Rozložení barev v obličejích lidí téže rasy je velice podobné, a lze zde proto obecně najít typické oblasti s určitou barvou. Pro oblast očních důlků je typická např. barva stínů, zatímco nos je jinak barevně výrazný a ohraničený stíny apod. Pomocí barev tedy lze efektivně detekovat tvář na scéně [2].

Tato metoda vykazuje velice dobré výsledky v případě, že je snímán tvář dobře osvětlena. Avšak problémy vznikají při velice jasném nebo naopak temném osvětlení a při různých úhlech dopadajícího světla na tvář. V těchto podmínkách je těžké rozlišit různé barvy a to dokonce i tehdy, kdy se barvy lidských tváří (příslušejících např. různým rasám) od sebe výrazně liší.

Při využití termosnímků tato metoda najednou ztrácí na účinnosti. Neboť při snímání termokamerou se veškeré informace o barvě kůže ztrácejí a jsou nahrazeny informacemi o teplotě tváře.

Metody založené na informaci o pohybu na scéně

V určitých typech aplikací lze pro detekci a lokalizaci tváří na scéně využít časovou sekvenci snímků. Jestliže se osoby pohybují vzhledem k pozadí, jejich tváře mohou být rovněž poměrně jednoduše a efektivně detekovány na pozadí scény díky informaci o pohybu. V praxi se můžeme setkat s pojmem metoda optických toků (optic flow) [2], která je hojně využívána pro lokalizaci tváře, ale i pro její rozpoznávání [2].

Problémy detekce tváře založené na pohybu vznikají zejména tehdy, jestliže je na scéně více osob, které se navíc pohybují různými směry, různými rychlostmi a navíc se tváře mohou vzájemně překrývat nebo být překrývány jinými objekty (sloupy, stromy atd.). Tímto vzniká zmatek různých se šířících optických toků, který je pro program těžko rozlišitelný. Více o této metodě v kapitole 5.2 Rozpoznávání tváří.

Metody založené na symetrii

Lidská tvář je do určité míry symetrická, a proto lze této skutečnosti využít k detekci tváře na scéně. V tomto případě hledáme symetrický obrazec odpovídající charakteristikám lidské tváře.

Existuje řada různých přístupů k této metodě. Podle jednoho z nich se na scéně zkoumají kruhové oblasti a rozhoduje se zda jsou totožné se symetrickou tváří. Naproti tomu metoda, kterou upřednostňuje Reisfeld [2] používá metodu zobecněné symetrické transformace, která lokálně detekuje symetrické body, aby byly určeny části obličeje.

Jiní vědci definují přímou symetrickou transformaci [2], která zohledňuje symetrii v různých směrech. To umožňuje nalézt nejenom silné symetrické body, ale i popsat tvary symetrických objektů, která kromě detekce tváře určují i její lokalizaci [2].

5.1.3 Shrnutí

Všechny uvedené metody mají své klady a zápory. Nejlepší způsobem pro co nejdokonalější detekci a lokalizaci tváře je kombinace metod. Například použitím pouze informace o barvě kůže může dojít k mylným detekcím. Při následném využití například metody symetrie se procento správné detekce výrazně zvýší. Velkým nedostatkem u klasických fotografií je to, že nasnímaná tvář je obvykle pozměněna hrou světla a stínu. Nejjednoduší je využití termokamery, která dodává stejné snímky ať už ve tmě, nebo za plného osvětlení. Popřípadě kombinované využití termosnímků a normálních snímků. O tom více v kapitole 5.3 Multispektrální analýza.

5.2 Rozpoznávání tváře

V předešlé kapitole jsme popsali způsoby detekce a lokalizace tváře na scéně. Nyní se více budeme zabývat samotným rozpoznáváním tváře. Hlavním úkolem metod pro rozpoznávání tváře je vyzdvihnutí identifikačních markantů, které nám pomůžou vybrat ten správný záznam k námi nalezené tváři. Na následujících řádcích se budeme více věnovat metodám, díky kterým ze snímku vyextrahujeme informace vedoucí k úspěšné rekognici tváře.

5.2.1 Metoda založená na rozložení odstínů šedé v obraze

Již v předešlé kapitole jsme popsali využití metody rozložení odstínů šedi v obraze. Avšak toto výše popsané využití se vztahovalo pouze na lokalizaci tváře, proto se nyní budeme věnovat využití této metody při rozpoznávání konkrétní tváře. I v tomto případě rozložíme snímaný obraz na jednotlivé geometrické bloky (segmenty) mozaiky. A na tyto segmenty rozložíme i segmenty porovnávaného obrazu z databáze. Následně probíhá porovnávání segmentů z obrazu nasnímané tváře s obrazem tváře z databáze. Při tomto porovnávání se zkoumá nejbližší, popřípadě i vzdálenější okolí porovnávané dvojice segmentů. K porovnávání se používá n -rozměrných vektorů [2]. V konečné fázi se rozhoduje zda dva obrazy patří stejné osobě. Takto se postupně vyhodnocují všechny záznamy z obrazové databáze dokud není nalezena shoda mezi porovnávanými obrazy. Jinými slovy až do chvíle, než je osoba identifikována.

Nevýhodou této metody je její výpočetní náročnost., neboť se provádí porovnávání jednotlivých segmentů se všemi segmenty všech obrazů v databázi. Nesmíme zapomenout na to, že se

zkoumá i okolí těchto segmentů. Úspěšnost a rychlost této metody tedy závisí na množství obrazů v databázi.

Musíme ovšem zmínit širokou škálu variací této metody (Peng [2], Weng [2], Belhumeur [2]). Při detekci tváře se často používá tzv. transformace Karhunen–Loeve, jež je rovněž hojně využívána při rozpoznávání tváře s využitím Fisherova kritéria [2].

5.2.2 Metoda založená na geometrických tvarech a identifikačních markantech

Tvář je jako plocha, na které jsou rozloženy různé identifikační markanty. Tyto markanty mají od sebe různou vzdálenost a platí na ně určitá pravidla. Existuje 12 základních antropometrických bodů, kterými se lidská tvář dá popsat. Mezi ně patří [2]:

- vnitřní a vnější koutky oka
- vnější horizontální body rtů
- bod, kde nos přechází v čelo
- bod spodní hrany (špičky) nosu
- body na chrupavce ucha, chránící vnější zvukovod (tzv. tragus)
- body přechodu ušního lalůčku do tváře (tzv. helix).

Skupina těchto metod založených na rozpoznávání geometrických tvarů a identifikačních markant je dominantní metodou ve forenzní praxi [2]. Dodnes je také používána bezpečnostními složkami pro rozpoznávání jednak živých osob podle podoby tváře a mrtvých pomocí kosterních pozůstatků (lidská lebka).

Metody založené na antropometrickém přístupu mají v praxi automatizovaného zpracování následující problémy :

- Automatická detekce antropometrických identifikačních bodů není vždy spolehlivá, protože tyto body jsou mezi sebou velice odlišné a těžko se dají automaticky vyhledat v obrazech nízké kvality, nebo špatných světelných podmínek a dalších.
- Počet identifikačních bodů je malý a proto i často nedostatečný pro počítačové zpracování. Při zachycování snímku se nám nemusí podařit zachytit všechny identifikační body.
- Lze těžko vyjádřit spolehlivost, přesnost měření všech těchto antropometrických charakteristik.

Z těchto důvodů se autoři programů nejčastěji zaměřují na charakteristiky očí, úst, nosu a brady. Antropometrické body v oblasti ucha nejsou tak často využívány. A to z důvodu, že jsou často zakryty porostem vlasů.

Pro každý jednotlivý objekt obličeje je stanoven parametrický model (tzv. deformační šablona [2]) a energetická funkce, jejímiž proměnnými jsou maximální a minimální hodnoty odstínů šedi v

obraze objektu a obrysy tohoto objektu. Následně je postupně hledáno minimum energetické funkce změnou jednotlivých parametrů každého objektu. Získané parametry, které odpovídají minimu energetické funkce podmíněně definují geometrické tvary objektu [2].

Tyto metody nedosahují samy o sobě příliš dobrých výsledků. Tak jako u jiných metod je nejlepší tyto metody kombinovat s ostatními. Slouží jako efektivní filtry před použitím konečných metod identifikačně/verifikačního rozhodování a dávají vynikající výsledky.

5.2.3 Metoda optických toků (optic flow)

V kapitole 5.1.2 jsme již zmínili tuto metodu, která se dá použít jak pro lokalizaci, tak i pro rozpoznání obličeje. Metodu optických toků [2] lze popsat jako sekvenci snímků pohybu hlavy jedné a téže osoby. Budeme-li pozorně analyzovat dvojici snímků, jdoucích časově po sobě, zjistíme, že dochází k dynamickým změnám světelné intenzity mezi odpovídajícími si body. Zároveň dochází k pohybu těchto bodů. Tento pohyb můžeme vyjádřit vektorově, neboť každý bod má svůj směr pohybu a za jednotku času urazí určitou vzdálenost. Existují dva typy změn, kterým podléhají po sobě následující obrazy:

- Strukturální – změna intenzity
- Texturální – změna prostorová.

Metody optických toků se hojně využívá pro rozpoznávání emocí. Důvodem je, že každá tvář má své specifické rozmístění bodů. Když vyjádříme pohyb těchto bodů pomocí optického toku, tak můžeme poměrně jednoduše studovat emocionální změny na tváři.

Další využití této metody je v zabezpečovacích zařízeních [2]. Bylo dokázáno, že pohyb rtů při pronášení slova je také velice individuální [2]. Jedná se tedy o individuální znak člověka, který ho definuje stejně jako například jeho tvář. Tím pádem lze tohoto využít pro rozpoznávání osob.

5.2.4 Metoda neuronových sítí

Klasické metody, které jsme uvedli v předchozích podkapitolách jsou výborné pro řešení úloh rozpoznání při použití správných a celistvých dat. Při použití s porušenými nebo neuplnými daty však nepracují příliš dobře. Musíme uvést, že taková data se v reálném světě vyskytují nejvíce. Na taková data se nejlépe hodí neuronové sítě [2]. Pro úplnost uvedeme co to neuronové sítě jsou.

Neuronová síť napodobuje lidský mozek. Je prostředkem pro zpracování komplexních dat, využívajícím ke své práci množství propojených procesorů. To, že napodobuje lidský mozek je dáno tím, že neuronové sítě jsou schopny se učit a analyzovat rozsáhlé a komplexní množiny dat, které mnohem lineárnější algoritmy jen těžko zvládnou. Znalosti získané tímto učením jsou v neuronové síti zaznamenány ve spojení s jednotlivými neurony.

Skládá se z umělých (nebo také formálních) neuronů, jejichž předobrazem je biologický neuron. Neurony jsou vzájemně propojeny a navzájem si předávají signály a transformují je pomocí určitých přenosových funkcí. Neuron má libovolný počet vstupů, ale pouze jeden výstup.

Neuronové sítě začínají tím, že vlastně neznají nic. Váhy všech neuronů jsou náhodné. Způsoby učení neuronových sítí jsou dva [2]:

- Samoorganizující se – síť je předána obrovská hromada dat a síť se v ní snaží nalézt určité zákonitosti a souvislosti.
- Zpětně šířící se – tato síť je nějakým školitelem naučena pro určitou funkci. Ten vyhodnocuje, jestli je výstup sítě správný nebo ne. Případně pokud je výstup nesprávný, tak zeslabí zodpovědné váhy neuronů.

Metody neuronových sítí pro rozpoznávání tváří lze rozdělit na dvě kategorie [2]:

- 1. kategorie – v této kategorii je nejdříve různými metodami zjištěno umístění jednotlivých identifikačních markantů a následně je použita neuronová síť pro klasifikaci (rozpoznání) tváře.
- 2. kategorie – neuronová síť je použita napřed na zjištění umístění identifikačních markant a následně i na klasifikaci tváře.

Pro lepší pochopení neuronových sítí uvedu dva principy jejich fungování. Při první jednoduché neuronové síti je nejprve plocha vybraného podprostoru „rozbita“ na n -stejných obrazců, které se vyhodnocují jednoduchou neuronovou sítí. Při použití komplexnějších neuronových sítí je plocha vybraného podprostoru třikrát rozdělena, a to pokaždé jiným způsobem. V prvním případě na čtvrtiny, ve druhém na šestnáctiny a ve třetím na pět stejných, horizontálních pásem. Každá oblast je ve všech třech případech zprůměrována a slouží jako vstupní hodnota do sítě. Díky tomu se počet vazeb oproti jednoduché síti výrazně snížil.

Souhrnem k neuronovým sítím můžeme říct, že sítě jsou velmi adaptabilní a velice účinné oproti všem ostatním výše popsaným metodám.

5.3 Multispektrální analýza

Multispektrální analýza je analýza scény, která je zachycena více jak jedním typem snímku. My se budeme zabývat dvěma typy snímků:

- Normální snímek – pořízený klasickou kamerou (fotoaparátem)
- Termo snímek – pořízený speciální termo kamerou

5.3.1 Využití kamery snímající v infračervené oblasti

Klasické identifikační programy se obecně musí zabývat mnoha problémy, které jsou spojeny s klasickým snímacím zařízením. Pro příklad uvedeme problém s nasvícením, který rozpoznávacím algoritmem dělá velké problémy. Tento problém lze docela jednoduše vyřešit využitím speciální termokamery. Tato kamera není závislá na kvalitě vnějšího osvětlení. Tuto výhodu vyvažuje její vyšší cena a další faktory.

Povrch tváře je protkán hustou sítí krevního řečiště, tvořenou cévami, žilami a kapilárami, které krví roznášejí kyslík po celém povrchu obličeje. Krev má výrazně vyšší teplotu než bezprostřední okolí krevního řečiště. Snímání portréту tváře je pak založeno na rozložení tepla v obličeji a jeho vyzařování do okolí. Teplota povrchu kůže tváře je měřena pomocí infračerveného spektra. Speciální kamery termovize dokáží rozlišovat teplotu s přesností 0,01 °C, a tak snímají detailní obraz krevního řečiště [2]. Pro zajímavost uvedeme, že obraz krevního řečiště v tváři má podobné identifikačně-verifikační vlastnosti jako např. obraz krevního řečiště na hřbetu ruky. Infračervené kamery dávají stejný obraz jak při plném denním osvětlení, tak i v dokonalé tmě. K detekci a rozpoznávání tváří v infračerveném pásmu se používá zejména metoda PCA Principal Component Analysis [2]. Více však v další částech této práce, které se podrobněji zabývají možnostmi využití těchto metod.

5.3.2 Normální snímek versus termo snímek

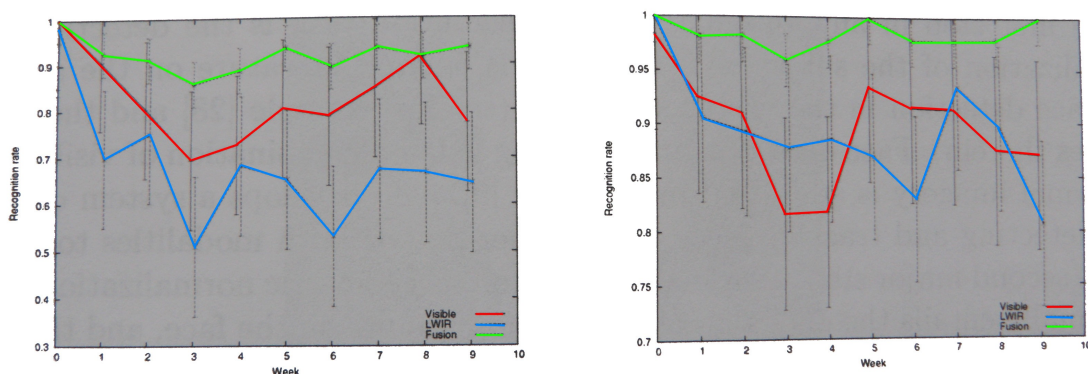
V minulých kapitolách jsme již několikrát naznačili možnost využití termosnímků pro rozpoznávání obličejů. Hlavním nedostatkem při používání klasických snímků (těch focených ve viditelné části spektra) je, že potřebují aby všechny části obličeje byly co nejlépe osvětleny. Mnohé výše uvedené metody se tím mohou stát neúčinnými, a tím snížit celkovou efektivnost programu. Termosnímky tento světelný problém řeší. Neboť kamera zaznamená stejný snímek ve tmě tak jako při plném osvětlení. Při použití termosnímků nám vyvstávají nové problémy, které jsme do této doby nemuseli řešit. Například obrázek 5.2.



Obr. 5.2: Nalevo klasický snímek, napravo termo snímek

Obrázek 5.2 nám ukazuje jeden z největších problémů termosnímků. Jak si můžeme všimnout, tak snímaná osoba nosí brýle. Zatímco na normální fotografii vidíme skrz sklo brýlí, u termo snímku to není možné, neboť sklo je naprosto neprůhledné ve středních a dlouhých vlnových délkách infračervené části spektra. U normálních fotografií můžeme určitou modifikací algoritmu docílit, aby nám program fungoval správně. Avšak v případě termosnímků to není vůbec jednoduché. Brýle nám zakrývají dva z hlavních identifikačních markantů (očí) a tím ztěžují případnou rekognici. Existují metody segmentování obrazu s brýlemi a tím získání potencionálních souřadnic očí [3]. Musíme ovšem uvést, že souřadnice očí, které tímto způsobem získáme jsou nepřesné a chyba způsobená touto metodou může být pro rozpoznávání zásadní.

Bylo provedeno mnoho studií o tom, které snímky jsou pro rozpoznávací metody lepší. Tyto studie byly provedeny na databázi snímků, která byla nasnímana v průběhu několika týdnů. Studie [1], která se tímto problémem zabývá, vyzkoušela databáze klasických a termosnímků [4][5]. Na těchto databázích byly vyzkoušeny dva typy rozpoznávání. První byl PCA a druhý tzv. Equinoxův algoritmus[3]. Výsledky této studie jsou přehledně shrnuty na obrázku 5.3.



Obr. 5.3 : Nalevo: graf pro algoritmus PCA, Napravo: graf pro Equinoxův algoritmus,[1][3]

v grafu: červená – normální snímky, modrá – termosnímků, zelená – kombinace.

Informace ke grafu:

- osa y: poměr úspěšného rozpoznání obličeje vůči neúspěšnému (tzv. recognition rate)
- osa x: týden, ve kterém byly snímky pořízeny
- červená linie znázorňuje efektivnost rozpoznávacích metod pro normální snímky
- modrá linie znázorňuje efektivnost rozpoznávacích metod pro termosnímků
- zelená linie znázorňuje efektivnost rozpoznávacích metod pro kombinaci normálních a termosnímků

5.3.3 Kombinace termosnímků s normálními snímky

Jak můžeme vidět na obrázku 5.3, tak se použití termosnímků s normálními snímky liší mírně v závislosti, na použitém algoritmu. Zato využití společně obou typů snímku přináší až nečekaně výborné výsledky. Jak vidíme na obrázku 5.3 je míra úspěšnosti u obou algoritmů velmi vysoká, v průměru blízká se 100 % úspěšnosti. Autoři [1][3] vyjádřili úspěšnost termo, normálních a kombinace snímků v následující tabulce. Snímky byly pořízeny v kontrolovaném vnitřním a nekontrolovaném vnějším prostředí [4,5]. Pro přesnost musíme uvést, že nekontrolovaným vnějším prostředím se myslí klasická venkovní scéna s proměnlivým pozadím. Snímky byli pořizovány za slunce i deště. Snímané osoby byli při dešti vystaveni dopadající vodě z důvodu získání co nejrealističtějších snímků.

Tabulka 5.1: Míra úspěšnosti využití klasických snímků, termo snímků a jejich kombinace

	Normální snímky	Termo snímky	Kombinace snímků
Snímky pořízené uvnitř	97,05%	93,93%	98,40%
Snímky pořízené venku	67,06%	83,02%	89,02%

Jak si můžeme všimnout v tabulce 5.1, normální snímky se v kontrolovaném prostředí ukázaly efektivnější, než termo snímky. Avšak jakmile bylo snímání provedeno v nekontrolovaném venkovním prostředí, tak se výsledek obrátil. V tomto případě jsou lepší snímky pořízené termo kamerou, protože tyto snímky se tak nediferencují (v závislosti na prostředí, ve kterém jsou pořizovány) od snímků normálních. Z testování vyplývá, že nejefektivnější je kombinace obou typů snímků.

5.3.4 Shrnutí

Snímky pořizované normální kamerou jsou z hlediska použitelnosti lépe využitelné pro kontrolované rozpoznávání snímků. Jejich velkou výhodou je nižší cena kamery, která je snímá. Pro snímání v nekontrolovaném prostředí spíše doporučujeme využití termokamery, popřípadě kombinace obou typů kamer. Důvodem je, že úspěšnost rozpoznávání využitím těchto kamer je výrazně lepší.

6 Databáze termosnímků

K ověření názorů uvedených v kapitole 5.3 a pro provedení experimentů s termosnímkou jsem vytvořil databázi termosnímků. Tato databáze je koncipovaná tak, aby v co nejširší míře obsáhla co největší množství různorodých subjektů (tváří lidí). Hlavním záměrem při vytváření bylo, aby se v databázi vyskytovalo co největší množství různorodých osob. Databáze je tvořena 30 osobami a obsahuje 9 osob ženského pohlaví a 21 mužského. Dalším diferenciačním záměrem bylo nasnímání osob různého stáří. Nejstarší osoba zaznamenaná v databázi je muž starší 60 let. Nejmladší je ve věku kolem 20 let. Více v příloze 1 (tabulka snímaných osob).

6.1 Termokamera

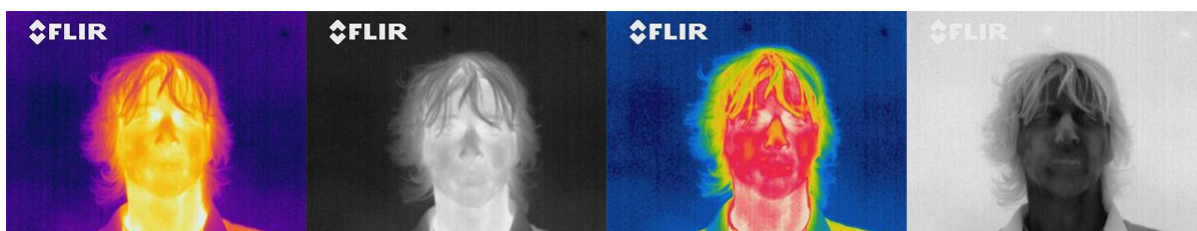
Snímání osob bylo prováděno v prostorách Vysokého učení technického v Brně na Fakultě Informačních technologií. Snímacím zařízením byla termokamera, ThermaCAM E300 společnosti FLIR (obrázek 6.1). Následující tabulka 6.1 názorně ukazuje technické parametry této kamery [6].

Tabulka 6.1: Technické specifikace přístroje ThermaCAM E300

Název kamery	ThermaCAM E300 společnosti FLIR
Typ detektoru	FPA (Focal Plane Array), nechlazený mikrobolometr, 320 x 240 pixelů
Spektrální rozsah	7,5 – 13 μm
Přesnost kamery	$\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ / $\pm 7\text{ }^{\circ}\text{F}$ / $\pm 2\text{ }\%$ ze snímané hodnoty
Čočka	IR lens 27mm



Obr. 6.1 : ThermaCAM E300.



Obr. 6.2: Použití různých barevných filtrů termokamery na jedné osobě (hlavě).

Kamera je schopná snímat obrazy ve 4 různých typech barevných filtrů. Ze čtyř možností jsem pro vytvářenou databázi vybral černobílou variantu (na obrázku 6.2 druhá zleva). Dalšími možnostmi byl magnetitový, červeno zelený a bílo černý filtr.

6.2 Termosnímký a jejich rozložení

Databáze byla vytvářena pro otestování vyvíjeného softwaru pro rozpoznávání obličejů. Z toho důvodu jsem každou osobu nasnímal s různým natočením hlavy (viz Obrázek 6.3). Pro testovací účely jsem osobu nasnímal i při pohledu dolů a nahoru a při naklonění hlavy na obě strany (viz Obrázek 6.4). Tato druhá série byla vytvořena z důvodu, že při těchto natočeních hlavy nejsou dobře rozpoznatelné všechny identifikační markanty, a nebo je rozmístění markantů různé od normálního pohledu přímo vpřed (linie očí, linie nosu a úst, elipsa obličeje apod.). Zaznamenané snímky mají rozlišení 320 x 240 px s 12 bitovou hloubkou.



Obr 6.3: Černobílé termo snímky osoby s různým natočením hlavy do stran.



Obr. 6.4: Černobílé termo snímky osoby s nakloněním hlavy.

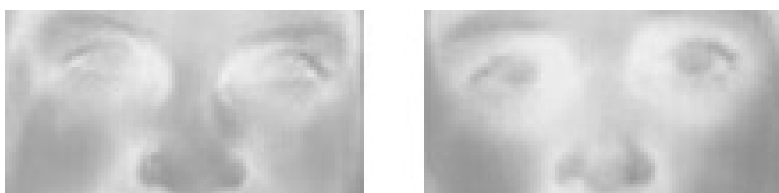
Pro lepší porozumění termosnímům jsem snímání osob provedl ve dvou fázích. V první fázi jsem nasnímal 20 osob. Speciální pozornost jsem věnoval některým osobám, které jsem nasnímal při příchodu z venkovního prostředí (cca -2 °C) a pak znovu po krátkém pobytu v teple (cca +23 °C). Díky tomuto jsem získal větší povědomí o procesu oteplování obličeje.



Obr. 6.5: Nalevo: teplá tvář, Napravo: chladná tvář.

Jak si na obrázku 6.5 můžeme povšimnout je na něm zachycena jedna a tatáž osoba. Doba mezi pořízením obou snímků je 15 minut. Na promrzlé tváři na obrázku 6.5 je vidět, že teplota vlasů je podobná teplotě tváří, brady a uší. Teplota vlasů je nízká a podobná teplotě pozadí. Tímto by mohlo dojít při zjišťování obrysu osoby k nepříjemným chybám.

Zajímavou informací je, že osoba snímaná na obrázku 6.5 nosí optické čočky. Na normální fotografii by bylo nemožné si tohoto údaje jednoduše všimnout. Avšak použitím termokamery je ověření této informace mnohem jednodušší. Obrázek 6.6 nám ukazuje dvě osoby ženského pohlaví. Při prohlížení levého snímku vidíme, že oblast středu očí je lehce chladnější, ale nemá tak ostré hrany přechodu jak u druhého snímku. Na pravém snímku vidíme jasný přechod mezi materiálem optické čočky a oka, na kterém je čočka položena.



Obr. 6.6: Nalevo: oči bez čoček, Napravo: oči s čočkami.

6.3 Zkoumání termosnímků

Po vytvoření databáze jsem za pomoci softwaru firmy FLIR (ThermaCAM Reporter, version 8.1) [6] vytvořil studie, díky kterým jsem mohl dále prozkoumat termosnímký. Tyto studie jsou příliš rozsáhlé na vložení do této práce proto jsem je přidal na přiložené CD. Za pomoci těchto studií a skriptů vytvořených v programovacích jazycích C++ a PHP jsem získal podrobnější informace o identifikačních markantech tváře. Tyto údaje lze nalézt v tabulkách 6.2, 6.3 a 6.4.

6.3.1 Analýza identifikačních markantů

Tabulka 6.2: Průměrná velikost barevné složky a teploty identifikačních markantů bez rozdílu pohlaví.

místo	Průměrná teplota	Horní mez	Dolní mez
oči	200.73 – 32.3 °C	231.64 – 33.7 °C	151.60 – 29.3 °C
nos	192.46 – 31.9 °C	236.44 – 33.9 °C	99.44 – 25.5 °C
ústa	170.16 – 30.6 °C	227.81 – 33.5 °C	86.62 – 24.7 °C
líce	201.42 – 32.4 °C	230.52 – 33.6 °C	166.44 – 30.3 °C

Zkoumání jsem provedl na skupině 30 lidí. Každá osoba byla nasnímana průměrně 10 snímky. Díky tomu jsem měl k dispozici 300 termosnímků. Avšak bylo potřeba některé snímky z databáze vyřadit (např. osoby s brýlemi, osoby s příliš otočenou hlavou atd.), z důvodu aby nedošlo k získání chybných výsledků. Měření byla provedena na očích, nosu, ústech a lících. Souřadnice těchto markantů byly získány manuálním zpracováním databáze za pomoci programu, který je přiložen na CD. Dalším krokem bylo za pomoci skriptu v jazyce PHP, prozkoumat celou takto anotovanou databázi a zjistit průměrnou hodnotu barevné složky hledaného bodu a jeho bezprostředního okolí.

V tabulkách 6.2, 6.3 a 6.4 jsou přehledně ke každému identifikačnímu markantu zobrazeny průměrná velikost barevné složky, průměrná teplota, teplotní minimum a maximum. První je zobrazena velikost barevné složky. Termosnímky jsou snímány černobíle, to znamená, že barevné složky si jsou rovny (Red = Green = Blue). Díky tomu jsem za pomoci studií, které jsem vytvořil v programu firmy FLIR, programů pro práci s obrázky a velkou dávkou práce, vyextrahoval velikost teplot na těchto markantech.

PHP skripty a program pro anotování databáze je možné nalézt na přiloženém CD. Program pro zpracování termosnímků firmy FLIR přiložen není, protože podléhá licencím pro užívání.

Abych mohl získat větší rozsah poznatků o teplotách identifikačních markantů, tak jsem provedl další zkoumání v této oblasti s rozdělením podle pohlaví. Dále uvádím velikosti zkoumaných oblastí těchto markantů:

- oči – kruhová oblast o poloměru 3px
- nos – kruhová oblast o poloměru 2px
- ústa – elipsová oblast, 12px na délku a 8px na výšku
- líce – kruhová oblast o poloměru 3px

Tabulka 6.3: Průměrná velikost barevné složky a teploty identifikačních markantů žen.

místo	Průměrná teplota	Horní mez	Dolní mez
oči	198.50 – 32.1 °C	231.16 – 33.6 °C	155.72 – 29.6 °C
nos	189.19 – 31.6 °C	236.44 – 33.9 °C	120.11 – 26.6 °C
ústa	167.69 – 30.4 °C	221.04 – 33.1 °C	90.32 – 25.0 °C

Tabulka 6.4: Průměrná velikost barevné složky a teploty identifikačních markantů mužů.

místo	Průměrná teplota	Horní mez	Dolní mez
oči	201.75 – 32.5 °C	231.64 – 33.7 °C	151.6 – 29.3 °C
nos	194.59 – 32.0 °C	235.33 – 33.8 °C	99.44 – 25.5 °C
ústa	170.98 – 30.7 °C	227.81 – 33.5 °C	86.62 – 24.7 °C

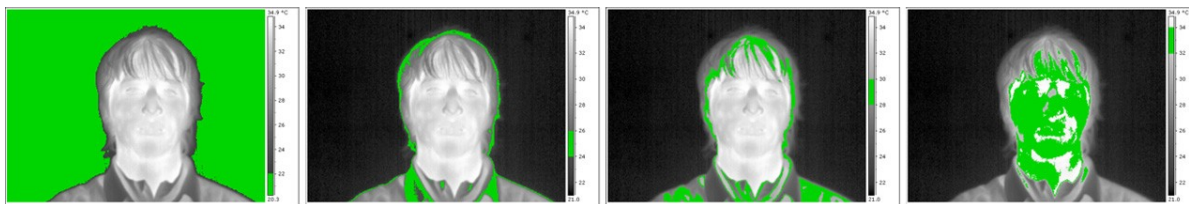
Když si podrobně prohlédneme tabulky (6.3 – ženy a 6.4 – muži) tak vidíme, že průměrná teplota identifikačních markantů žen je o půl stupně chladnější než u mužů. Teplotní rozsah všech identifikačních markantů dosahuje 4 až 7 °C. Mnou vytvořená databáze obsahuje pouze 30 osob. Pro přesnější výsledky by bylo možné použít větších databází, typu např [4][5].

6.3.2 Shrnutí analýzy identifikačních markantů

Pomocí různých programů pro zkoumání snímků a termosnímků jsme zjistili průměrné teploty identifikačních markantů. Vytvořené termosnímky byly snímány kamerou, která má odchylku měření ± 2 °C. Závěr, že průměrná teplota identifikačních markantů obličeje u žen, je o půl stupně menší než u mužů, může být zcela zavádějící. Tento rozdíl je půl stupně a s odchylkou měření ± 2 °C je nemožné zjistit, zda je tento údaj o mužích a ženách pravdivý. Veškeré programy a studie, díky kterým jsem se dopracoval k uvedeným teplotám, jsou přílohou této práce na CD. Pokud bude možnost využití termokamery s větší přesností než má ThermaCAM E300, je možné tyto údaje a závěry buďto potvrdit nebo vyvrátit.

6.4 Termobary

Dalším předmětem zkoumání termosnímků bylo získání termobarů (oblastí snímků, které mají stejnou teplotu) a pozorování závislostí mezi jednotlivými termobary. Pro příklad zde uvádím ukázky termobarů na obrázku 6.7. Tyto termobary jsem vytvořil v softwaru firmy FLIR (ThermaCAM Reporter, version 8.1), který jsem již využil k získání přesných teplot v kapitole 6.3.



Obr. 6.7: Zleva: termobary pro teplotní rozsah 0-22°C, 24-26°C, 28-30°C, 32-34°C.

Nyní však více k samotným termobarám. Termobary, jak již bylo výše naznačeno, jsou graficky znázorněnou oblastí určitého teplotního rozsahu. Obrázek 6.7 nám názorně ukazuje teplotní rozsahy 20-22°C, 24-26°C, 28-30°C, 32-34°C. Jak si můžeme všimnout, tak termobara 0-22°C vyznačí stěnu za snímanou osobou. Teplota místnosti byla kolem 20 °C, díky tomu se můžeme ujistit, že tyto termobary přesně znázorňují reálnou teplotu objektů na snímané scéně. Jednotlivé termobary na sebe těsně navazují.

6.4.1 Termobary v závislosti na částech obličeje

Vytvořením studií termosnímků a zvýrazněním jednotlivých termobarů jsem zjistil, že oblast tváře se nenachází v teplotním rozsahu do 26 °C. Termobara od 0 °C do 26 °C znázornila na testovaných snímcích pouze pozadí, vlasy a ramena. Netýká se to osob, které přišli z venkovního prostředí. Touto problematikou se zabývá další kapitola 6.4.2.

Podrobnějším zkoumáním termobar nám přineslo určitý způsob rozřazení jednotlivých částí obličeje v závislosti na určitých termobarách. Výsledky těchto pozorování jsou shrnuty v tabulce 6.5.

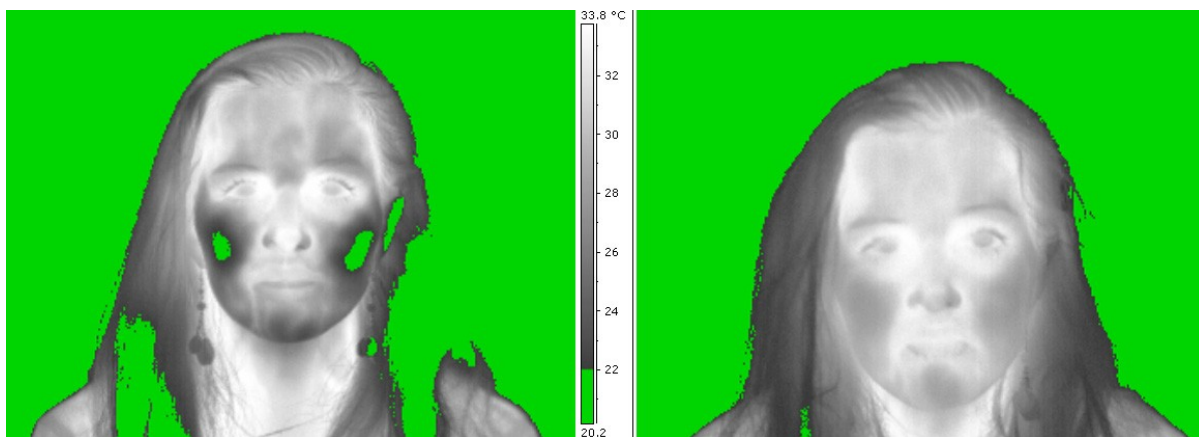
Tabulka 6.5: Rozdělení částí obličeje v závislosti na teplotě.

Teplotní rozsah termobaru	Části obličeje
26 °C – 28 °C	Část vlasového porostu blíže pokožce, lící kost
28 °C – 30 °C	Obočí, střední část nosu (nosní přepážka), tváře, ústa
30 °C – 32 °C	Řasy, oblast brady, oblast úst, ústa, nosní dírky, čelo
32 °C – 34 °C	Oblast očí a oči samotné, čelo (oblast u porostu vlasů), oblasti krku
34 °C a výš	Vnitřní koutky očí a menší oblasti v blízkosti vlasového porostu a krku.

Informace shrnuté v tabulce 6.5 jsou pouze orientační, neboť lidská tvář je velice proměnlivá s ohledem na teplotu. Rozložení teplot na lidském obličeje se mění každým okamžikem. Jednoduché emoce mohou způsobit náhlé rozehřátí pokožky (veselí) a nebo její celkové ochlazení (vzteky) [2]. Mezi další faktory, které mají vliv na vnější teplotu patří i kofein. Ten způsobí rozproudění krevního oběhu, a tím pádem i větší prokrvení pokožky, díky čemuž vzroste i vyzařovaná teplota.

6.4.2 Termobary osob v teplejších a chladnějších variantách

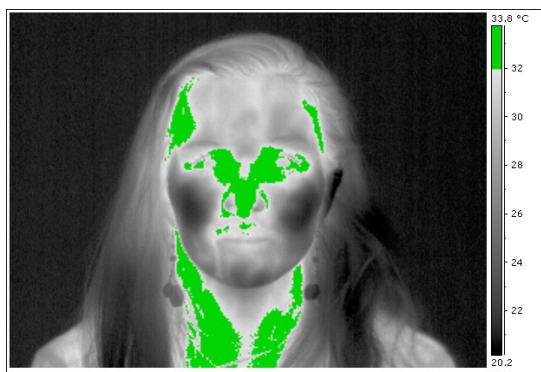
Pomocí termobar vyznačených na obrázku 6.8 vidíme, jak velkým faktorem (ovlivňujícím teplotu hlavy) je, když osoba přijde z venkovních prostor a kamera ji nasnímá při příchodu. Vidíme, že velká část vlasů má stejnou nebo velmi podobnou teplotu jako pozadí (v našem případě zeď s teplotou 20 °C). Tento fakt se může ukázat jako velice zásadní při zjišťování kontur hlavy. Pro použitý program by bylo složité rozlišit tento přechod z důvodu stejné teplotní barvy.



Obr. 6.8: Termobary teplot 0 – 22 °C pro nalevo - osoba, která přišla z venku a napravo – tatáž osoba po 15 minutách v teple.

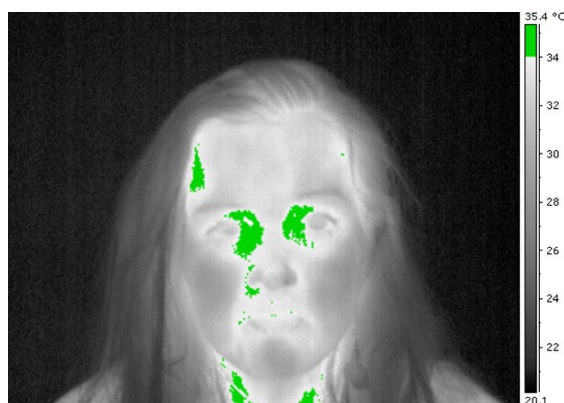
Jak si můžeme všimnout tak na obrázek 6.8 se nedá uplatnit žádná informace obsažená v tabulce 6.5, jedná se tedy o vyjimku, kterou jsme nemohli použít pro počítání průměrných teplot.

Obrázek 6.8 vlevo nám také ukazuje, které části obličeje prochladnou nejrychleji a nejvíce. Osoba na obrázku 6.8 je ženského pohlaví a má dlouhé vlasy, které jí z jedné strany kryjí ucho. Druhé ucho, které je odhalené, je znázorněno stejnou teplotou jako vlasy a stěna v pozadí. Vlasy jsou velkým teplotním izolantem. Jak vidíme na obrázku 6.9, vyznačená termobara nám na něm znázorňuje místa, která jsou kryta vlasy nebo k nim těsně přiléhají. Tyto oblasti mají vyšší teplotu, než odkryté části obličeje, jako třeba líc.



obrázek 6.9: Znázornění teplotní izolace vlasů, termobara pro teplotu 32 °C a výše.

Teplota naznačená termobarou na obrázku 6.9 odpovídá teplotě 32 °C a výše. Jak jsem již uvedl, tak se nejvyšší teploty dosahuje v zónách, které jsou v blízkosti vlasového porostu. Dalším místem takového výskytu jsou oči a převážně oční koutky, které díky velkému prokrvení této pokožky dosahují také vysokých teplot nad 32 °C. Znovu dodávám, že všechny výše uvedené informace se vztahují k osobě, která strávila určitý čas ve venkovních prostorech. V době snímání byla venkovní teplota -2 °C. Když se ale podíváme na obrázek 6.10 stejné osoby, která nějaký čas pobyla v teple, vidíme, že termobara nám jako nejvyšší teploty znázornila též části obličeje jako v obrázku 6.9. To jest určitá oblast čela, očí a krku. Pro přesnost uvádíme, že termobara na obrázku 6.10 je pro teplotní rozsah 34 °C a výše.

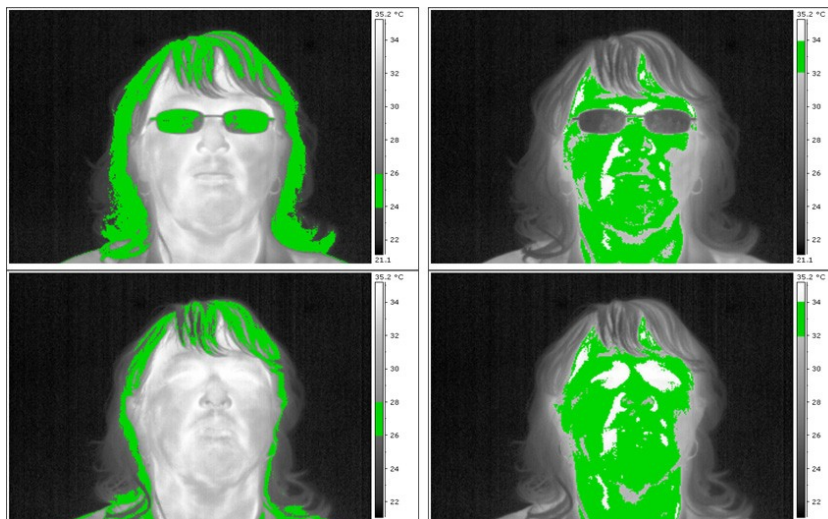


Obr. 6.10: Termobara pro teploty 34 °C a výše.

6.4.3 Osoby s brýlemi

V této práci jsem již v kapitole 5.3.2 uvedl, že termokamera má problém se sklem, které je pro velkou část infračerveného spektra neprůhledné. Tato nevýhoda termosnímků se podepisuje i na vytvářených termobarách. Jak můžeme vidět na obrázku 6.11, na horních dvou snímcích je osoba s brýlemi. Spodní dva snímky zase ukazují tu též osobu bez brýlí. Levý sloupec ukazuje termobaru pro teploty okolo 24 °C, pravý sloupec má termobarou zvýrazněnou teplotu 32-34 °C.

Jak je vidět, tak snímek osoby s brýlemi je nepoužitelný jak pro skripty pro zjišťování průměrných teplot, tak pro software rozpoznávající obličeje. Termobar na obrázku 6.11 nám ukazuje, že brýle nemají tu správnou teplotu očí. Proto jsem snímky s brýlemi vyřadil z anotované databáze, kterou jsem použil ke získání průměrných teplot.



Obr. 6.11: Termobary pro osobu s brýlemi a bez nich.

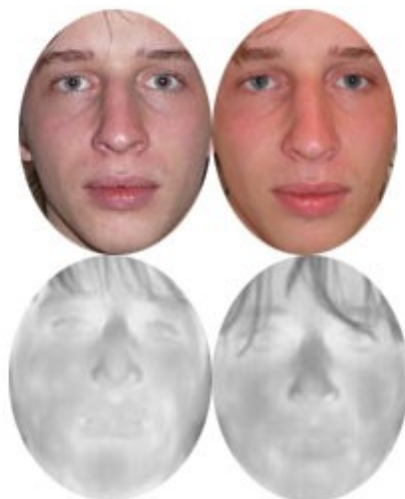
6.4.4 Shrnutí - termobary

V této kapitole jsme uvedli pár ukázkových termobar, na kterých jsme prezentovali jejich určité zákonitosti. Další obrázky termobar jsou součástí obrazové přílohy, a ještě více je v elektronické podobě uloženo na přiloženém CD.

6.5 Termosnímký – výhody a nevýhody oproti normálním snímkům

Již v kapitole 5.3 Multispektrální analýza jsem se zabýval porovnáváním termosnímků s klasickými. V té kapitole jsem také uvedl graf ke studiím [4][5], které se zabývaly efektivností použití termosnímků v poměru s normálními snímky. Já jsem provedl podobný pokus v menším měřítku. V průběhu dvou sezení jsem nasnímal jednu a tutéž osobu. Pouhým okem můžeme sledovat rozdíly normálních a termosnímků v průběhu 2 měsíčního časového rozdílu.

Když se podíváme na obrázek 6.12, tak vidíme, že normální snímek se příliš neodlišuje s odstupem 2 měsíců. Zatímco u termosnímků vidíme různé rozdíly. Termobary jsou rozdílné a teplo je různě rozložené na identifikačních markantech. Tím vznikají odlišnosti, které způsobují horší úspěšnost rozpoznávání u termosnímků. Tento experiment můžeme brát jako potvrzení závěrů, kterých dosáhli autoři v [3]. V jejich práci provedli větší experiment, ve kterém každý týden nasníмали termosnímký těch stejných obličejů v průběhu 10 týdnů. Zjistili, že při snímání v průběhu více týdnů se termosnímký liší více než normální snímky. Díky tomu je úspěšnost normálních snímků v kontrolovaném prostředí vyšší.



Obr. 6.12: Normální a termo snímky pořízené s odstupem 2 měsíců.

6.6 Využití termosnímků v praxi

V předešlých kapitolách jsme popsali mnoho způsobů využití termosnímků. K dalším způsobům uplatnění termosnímků můžeme přidat následující.

6.6.1 Využití ve stavebnictví

Termokamera umožňuje jednoduchý, rychlý a bezkontaktní průzkum rozložení teplot na povrchu staveb. Díky tomu je snadné odhalit závadu v tepelně-izolačních vlastnostech budov. Typickými aplikacemi ve stavebnictví jsou tyto:

- kontrola tepelně-izolačních vlastností pláště staveb
- kontrola tepelně izolačních vlastností zařízení pro výrobu a rozvod tepla
- kontrola provozního stavu elektrických rozvaděčů
- vyhledávání závad podpodlahového topení, bezpečná lokalizace místa uniku topné kapaliny
- optimalizace projektu z hlediska tepelné pohody a z hlediska optimalizace pracovního prostředí
- a tak dále

6.6.2 Využití při epidemických nákazách

V roce 2009, kdy svět zachvátil strach z prasečí chřipky, se našlo nové využití termografie pro zabezpečení proti epidemické nákaze. Na leteckých terminálech byl nainstalován nový bezkontaktní způsob měření teploty osob za pomoci termokamer. Důvodem je, že při onemocnění se zvýší tělesná teplota, kterou termokamera dokáže změřit. Díky tomu mohou být cestující rozděleni do tří skupin.

- Lidé bez příznaků – normální tělesná teplota
- Lidé s nejednoznačnými příznaky – lehce zvýšená teplota
- Lidé s jednoznačnými příznaky – horečka, vysoká teplota.

Tímto je epidemiologické riziko sníženo za pomoci prostředku, který pro cestující neznamená žádné znepríjemnění cestování. [8]



Obr. 6.13: Termokamery na letišti - zdroj: <http://image.tn.nova.cz/>

6.6.3 Využití při detekci lží

V průběhu zkoumání jsme narazili na článek, který se zabýval studií na využití termografie k detekci lží. V tomto pokusu[2] se zjistilo, že u 75 % osob, které lhaly, zaznamenala termokamera s vysokou rozlišovací schopností sotva patrný růměnec kolem očí, který je podle vědců důkazem klamání.

Takovýto projev se může stát jednoduchým a rychlým vodítkem k odhalování lhářů při pečlivém přešetřování lidí zpovídaných na letištích či hraničních přechodech. Testy s polygrafem, všeobecně známým jako detektor lží, přinášejí obdobné výsledky.

Podle vědců je růměnec kolem provinilcových očí termální známkou primitivního návalu strachu, který člověka zachvátí v případě, když se dopouští lži. Jiní vědci nepřikládají termickým projevům velký význam. Termální kamera, stejně jako detektor lži podle nich zachycuje fyziologické změny způsobené úzkostí. Ty však nemusí nezbytně svědčit o vině či nevině [2].

6.6.4 Využití při rozpoznávání obličejů – výsledky rozpoznávání na naší vytvořené databázi

Možností využití termosnímků pro rozpoznávání obličejů (identifikaci a verifikaci) jsem se zabýval již v kapitole 5, proto nyní zaměříme svou pozornost na výsledky, kterých dosáhla mnou vytvořená databáze na softwaru, vyvíjeném panem Janem Váňou.

Díky panu Váňovi, který databázi na svém softwaru vyzkoušel, jsme zjistili následující výsledky. Při využití ručně anotované pozice identifikačních markantů (tj. očí, nosu, úst) se úspěšnost

identifikace tváře vyšplhala na 95%. Pokud byla pozice identifikačních markantů počítána programově, tak procento úspěšné rekognice osob dosáhlo 87%.

Tento výsledek je přibližně stejný jako ten, který je uveden v kapitole 5.3. V této kapitole je uvedeno, že v dílech [1][3] termosnímků dosáhly 93% úspěšnosti. Díky tomu jsme potvrdili část závěrů, kterých jsme se dosáhli v kapitole 5.3.

6.7 Shrnutí

Díky využití různého softwaru, skriptů a programů jsem mohl úspěšně prozkoumat databázi termosnímků. Provedl jsem řadu experimentů, které mi dokázali, že i když má termokamera mnohé přednosti, tak její samostatné využití v reálných situacích není doporučováno. Zkoumání, která jsme provedli nám dokázala, že v procesu rozpoznávání obličejů je nejlepší využít termosnímků pro detekci a lokalizaci obličeje a při hledání identifikačních markantů. Samotné rozpoznání obličejů pak dokončit pomocí snímků z normálních kamer.

7 Závěr

Záměrně jsem věnoval značnou část práce historii, teoretickým základům a vlastním metodám a postupům objevu, rozvoje, a využití termografie jako příkladu vědecké práce od objevu fyzikálního jevu až po jeho praktické využití.

Samotná problematika využití dálkového bezkontaktního snímání infračervené části elektromagnetického spektra k detekci, lokalizaci a identifikaci lidského obličeje je velice komplexní. Za pomoci série experimentů jsem prozkoumal mnou vytvořenou databázi termosnímků. Ve zkoumání jsem se zaměřil na jejich vlastnosti a využitelnost v automatizovaném procesu rozpoznávání obličejů. Prostudováním prací, které se zabývají problematikou termosnímků při rozpoznávání jsem zjistil, že termosnímků nevykazují takovou úspěšnost při rozpoznávání jako klasické snímky. Experimenty, které jsem provedl, vykazovaly velké procento shody s výsledky těchto prací a tím jsem potvrdil jejich závěry. S využitím dostupného softwaru jsem porovnal identifikační markanty a typické části obličeje. Poté jsem je přiřadil vybraným termobarickým oblastem.

Ukázalo se, že existuje řada dalších náhodných či nesystémových vlivů a podmínek, které činí využití termografických snímků samotných pro detekci, lokalizaci a zejména identifikaci obličeje značně problematickými. Jejich využitelnost se však zvyšuje v kombinaci s dalšími možnými a používanými metodami, zejména s klasickými ať černobílými, nebo barevnými fotografickými snímky. Detailnější experimentování a zkoumání bylo omezeno i malou přesností termokamery, kterou jsem měl pro tento účel k dispozici.

Jedním z přínosů této práce je databáze termosnímků. Tato databáze je vytvořena ve dvou verzích, anotované a bez souřadnic identifikačních markantů. Tím je možné této databázi využít jak pro testování detekce a lokalizace obličeje, tak i rozpoznávání obličeje. Dalším krokem u této práce by mohlo být zopakování těchto experimentů s přesnější kamerou, větší databází termosnímků a specializovanějším zaměřením na určitý problém. Nebo lze této práci využít jako základu pro vytvoření softwaru pro automatizované rozpoznávání obličejů s využitím databáze termosnímků.

Literatura

- [1] Socolinsky, D.A., Selinger, A.: *Thermal Face Recognition Over Time*, In: Proceedings of ICPR'04, IEEE CS, 2004, pp. 187-190, ISBN 0-7695-2128-2.
- [2] Rak R., Matyáš V., Říha Z. a kolektiv: *Biometrie a identita člověka*, Praha, Grada Publishing a.s. 2008, ISBN 978-80-247-2365-5.
- [3] Jain K. A., Flynn P., Ross A. A.: *Handbook of biometrics*, New York, Springer Science+Business Media 2008 ,ISBN-13: 978-0-387-71040-2.
- [4] Chen X., Flynn P., Bowyer K.: *PCA-based face recognition in infrared imagery: Baseline and comparative studies*, In international Workshop on Analysis and Modeling of Faces and Gestures, Nice, France, 2003.
- [5] Chen X., Flynn P., Bowyer K.: *Visible-light and infrared face recognition*, In proceedings of the Workshop on Multimodal User Authentication, Santa Barbara, CA, 2003.
- [6] FLIR system, *ThermaCAM Reporter - user's manual*, Professional Edition. Version 8.1, publ.No. 1558567, Language English, 2007.
- [7] Halliday D., Resnick R., Walker J.: *Fyzika, Vysoké učení technické –* Nakladatelství VUTIUM, nakladatelství PROMETHEUS, České vydání, Brno, 1999.
- [8] Vánička D.: *Přistál let z Mexika: 1 turista je v nemocnici, 6 v karanténě* - reportáž [online], <http://www.zpravav.cz/detail/rouscky-a-termokamery-na-ruzyni-kvuli-praseci-chripce-prilet-cechu-z-mexika-113534> , [cit. 5.5.2009].
- [9] Termokamera ve stavebnictví, [online] http://www.termokamera.cz/index.php?option=com_content&task=view&id=6&Itemid=9 , [cit. 7.5.2009].
- [10] Vojáček A.: *Co jsou BOLOMETRY a MIKROBOLOMETRY ?* [online], <http://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/ART196-co-jsou-bolometry-a-mikrobolometry.html> , [cit. 15.5.2009].

Seznam příloh

Příloha 1: Tabulka nasnímaných osob

Příloha 2: Obrazová příloha k osobě č.1 – Radek Kočár

Příloha 3: CD – obsahuje:

- Databázi termosnímků spolu s oddělenou anotovanou databází
- PHP skripty, pro získávání průměrných teplot identifikačních markantů
- Program pro ruční anotování databáze
- Řadu studií vypracovaných v softwaru firmy FLIR
- Elektronickou podobu této práce

Příloha č.1 - Tabulka nasnímaných osob

Pořadové číslo	Pohlaví	Věk	Poznámky
1	Muž	20 - 30	+ 2. série snímků + chladnější verze
2	Muž	20 - 30	+ 2. série snímků
3	Muž	20 - 30	+ 2. série snímků + chladnější verze + brýle
4	Muž	20 - 30	
5	Muž	20 - 30	
6	Muž	20 - 30	
7	Muž	20 - 30	
8	Žena	20 - 30	
9	Muž	20 - 30	
10	Žena	20 - 30	
11	Muž	20 - 30	pouze brýle
12	Muž	20 - 30	
13	Žena	40 - 50	
14	Žena	30 - 40	+ brýle
15	Žena	30 - 40	
16	Žena	40 - 50	
17	Muž	20 - 30	
18	Muž	30 - 40	Plnoštíhlá osoba
19	Muž	20 - 30	Plnoštíhlá osoba
20	Muž	> 60	
21	Žena	20 - 30	+ chladnější verze, osoba s čočkami
22	Muž	20 - 30	
23	Muž	20 - 30	
24	Muž	20 - 30	
25	Žena	20 - 30	
26	Muž	20 - 30	Španěl
27	Žena	20 - 30	Španělka
28	Muž	20 - 30	
29	Muž	20 - 30	
30	Muž	20 - 30	

Příloha č.2 – obrazová příloha k osobě č.1



Obr. 1: Snímek vyfocený normálním fotoaparátem



Obr. 2 : Filtry využitelné při snímání termokamerou

Snímky pořízené při prvním sezení



Obr. 3: Snímky pořízené při prvním sezení

Snímky pořízené při druhém sezení



Obr. 4: Snímky pořízené při druhém sezení

Termobary



Obr. 5: Postupné termobary pro osobu č. 1